

# Geri devirli ardışık yüzeyaltı akışlı sistemler ile evsel atıksudan azot giderimi

Nur FINDIK HECAN\*, Lütfi AKÇA, Selma AYAZ

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

*Atıksulardan azotlu bileşiklerin gideriminde kullanılan konvansiyonel biyolojik ve kimyasal arıtma yöntemlerinin, yapay sulak alanlar ile kıyaslandığında kontrolü ve işletilmesi yüksek maliyetli, proses olarak daha hassas sistemler oldukları görülmektedir. Ardışık yüzeyaltı akışlı sistemlerin azotlu bileşiklerin gideriminde uygulama alanı bulmasında doğal sistemlerin kontrollü birer modifikasyonu olması, bu sistemlerin işletme ve bakım maliyetlerinin düşük olması ve sistemin doğal çevreyle uyumlu olması önemli hususlardır. Bu çalışmada, geri devirli ardışık yüzeyaltı akışlı sistemin, nitrat geri devrinin yapıldığı anoksik/oksik (A/O) aktif çamur sistemlerine benzer şekilde çalıştırılarak azot giderimi sağlanabileceği gösterilmiştir. Geri devirli sistemde sistem performansı incelenmiştir. Bu amaçla anaerobik ön arıtmadan geçirilmiş ve anaerobik ön arıtmasız evsel atıksu, sıcaklığın sabit tutulduğu bir ortamda iki kademeli bir sistemde farklı geri devir oranlarında işletilmiştir. Çalışmada kullanılan sistem, birinci kademe yatay yüzeyaltı akışlı sistem (Y-YAAS) ve ikinci kademe düşey yüzeyaltı akışlı sistem (D-YAAS) olmak üzere iki kademelidir. Sistem anaerobik ön arıtmadan geçen ve anaerobik ön arıtmasız iki farklı evsel atıksu ile işletilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Anaerobik ön arıtmadan geçirilmiş evsel atıksuyun geri devir uygulanmadan 612 L/m<sup>2</sup>.gün hidrolik yükleme hızı (HYH) ile işletildiği dönemde sistemin TN (toplam azot) giderimi ortalama %25 iken %50 geri devirli işletme döneminde %30 ve %100 geri devirli dönemde ise %55 TN giderimi sağlanmıştır. 612 L/m<sup>2</sup>.gün HYH ile %100 geri devirli işletme döneminde sistem çıkışında ortalama 19 (19±3) mg/L TN deşarj konsantrasyonu, 12 (12±8) mg/L KOİ deşarj konsantrasyonu elde edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Ardışık yüzeyaltı akışlı sistem, Y-YAAS, D-YAAS, azot giderimi, geri devir.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Nur FINDIK HECAN. [nur.hecan@mam.gov.tr](mailto:nur.hecan@mam.gov.tr); Tel: (262) 677 29 86.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Ardışık yatay ve düşey akışlı yüzeyaltı arıtma sistemi ile azot giderim araştırılması" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 07.04.2010 tarihinde dergiye ulaşılmış, 10.06.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 28.02.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Nitrogen removal from domestic wastewater by recycled sequencing subsurface treatment systems

### Extended abstract

*The aim of this study is to examine the nitrification – denitrification potential in sequencing systems, to supply system optimization for improving this potential. For this aim, experimental study is made on two paralel sequencing system about nitrification potential – optimum hydraulic rate under constant temperature.*

*Within the study, a two stage sequencing system made up of Horizontal Flow and Vertical Flow System, is established. Gravel media is used in the system. In the study domestic wastewater from TUBITAK MAM Gebze Campus, is used.*

*Recycled Sequencing System is aimed to be operated as anoxic/oxic (A/O) activated sludge systems to remove nitrogen. The effect of hydraulic loading rate, fill-and-draw mechanism, recycle ratio on nitrogen removal by sequencing systems, is examined. In addition, VFS - running with a continuously fed - batch discharge reactor – is operated to increase oxygen transfer rate (OTH), thereby increasing nitrification efficiency was targeted.*

*Nitrification – denitrification potential in Recycled Sequencing System is examined and the optimum maintenance parameters and system configuration is produced for improving the potential. Scope of the experimental study is 7 different experiment groups; trial of 4 different hydraulic loading rate (HLR), 2 different recycle ratio (R), two different operation type as pretreated and not pretreated domestic wastewater.*

*HFS is operated to remove organic matter thereby decreasing organic loading rate for VFS makes the nitrification bacteria dominant in VFS. In VFS, each volume of drained effluent is displaced by an equal volume of fresh air thereby required oxygen for nitrification is transferred into the system. Recycle ensures denitrification process in HFS and increases nitrogen removal performance.*

*HFS reduces the organic loading rate of VFS so that VFS is enabled for nitrification. During the experimental study period without recycle,  $69\pm12\%$  COD*

*removal for HLR  $80\text{ L/m}^2\cdot\text{day}$ ,  $64\pm13\%$  COD removal for  $120\text{ L/m}^2\cdot\text{day}$ ,  $60\pm14\%$  COD removal for  $240\text{ L/m}^2\cdot\text{day}$  is ensured in HFS. This has provided a more competitive environment for the nitrification bacteria. Depending on this at VFS,  $83\pm11\%$  TKN transformation for HLR  $408\text{ L/m}^2\cdot\text{day}$ ,  $67\pm11\%$  TKN transformation for HLR  $612\text{ L/m}^2\cdot\text{day}$ ,  $50\pm8\%$  TKN transformation for HLR  $1224\text{ L/m}^2\cdot\text{day}$ , is ensured.*

*The fill-and draw mechanism increased nitrification. By the operation mechanism the amount of oxygen transferred to the system is increased. The amount of oxygen transfer during one cycle is  $15\text{ (14.56) g O}_2\text{/m}^2\cdot\text{cycle}$  average value. The discharge period increase, depending on increasing of hydraulic loading rate of the system, increases the oxygen transfer rate (OTR;  $\text{g O}_2\text{/m}^2\cdot\text{gün}$ ). However, the retention time decreases depending on HLR increase and this shortens the contact time for the wastewater with oxygen. The performance decrease for HLR  $1224\text{ L/m}^2\cdot\text{day}$  is dependent on short retention time of the system. These results show that nitrification capacity is directly related to the HLR value applied to the system.*

*The results of the operation period with recirculation shows that COD removal in first stage; VFS, is around same level for 50% and 100% recycle ratio. The discharge values of COD are also at same level. The increase of recycle ratio does not change COD removal but TN removal rate improves from  $22\pm12\%$  removal rate to  $55\pm9\%$  removal rate.*

*In Recycled Sequencing System with HLR of  $120\text{ L/m}^2\cdot\text{day}$  (HF) and  $612\text{ L/m}^2\cdot\text{day}$  (VF), average discharge value is  $19\text{ mg/L}$  ( $19\pm3$ ) TN,  $12\text{ mg/L}$  ( $12\pm8$ ) COD. These values are below the discharge values of VF and HF systems in literature.*

*In Recycled Sequencing System with average loading of  $22.9\text{ g COD/m}^2\cdot\text{day}$  and  $6\text{ g TN/m}^2\cdot\text{day}$ , first stage (HFS)  $0.8\text{ m}^2\text{/capita}$ , second stage (VFS)  $0.2\text{ m}^2\text{/capita}$  total  $1\text{ m}^2\text{/capita}$  system area,  $95\pm3\%$  COD and  $55\pm9\%$  TN removal is provided.*

*This study is enclosed by the TARAL Project titled; “Low Cost Treatment Technologies for Turkey; Pilot Application for Marmara Region”.*

**Keywords:** Sequencing subsurface flow system, VFS, HFS, nitrogen removal, recycle.

## **Giriş**

Filtre yataklarda önemli bir problem, filtre yatağın askıda katı maddeye bağlı olarak tıkanma sorunu ile karşı karşıya kalınmasıdır. Yapay sulak alanlar gibi filtre yataklarında yaygın olarak kullanılan ön arıtma septik tanklar veya İmhoff tanklarıdır. Ancak bu teknolojiler, özellikle askıda katı madde gideriminde işletme sorunları yaratmakta ve zaman içinde dolgu yatağın tıkanma sorunu ile karşı karşıya kalmasına sebep olmaktadır. Filtre yatakların anaerobik ön arıtma sistemleri ile birlikte işletilmesine dair ilk uygulamalar 2000'li yıllarda başlamıştır. Uygun anaerobik ön arıtma uygulamasının seçimi filtre yataklarda giriş organik madde yükünü ve buna bağlı olarak arazi ihtiyacını azaltarak inşaat maliyetini %36 ila %40 azaltmaktadır (Alvarez vd., 2008).

Anaerobik ön arıtma ardışık yüzeyaltı akışlı sistemlerden önce uygulandığında sistemin organik yükünü ve katı madde yükünü azaltarak azot giderimi için elverişli bir ortam sağlamaktadır. Çözünmüş oksijenin yeterli olduğu aktif çamur vb. reaktör sistemlerinde hızlı bir şekilde gerçekleşen nitrifikasyon, yüzeyaltı akışlı sistemlerde ancak uzun bekletme sürelerinde gerçekleşmektedir. Bu durum esasen oksijen kısıtlılığına bağlıdır. Araştırmalar, bu tür sistemlerde nitrifikasyonu kısıtlayan faktörün sisteme oksijen girişindeki sınırlamalar olduğunu göstermektedir (Green vd., 2000; Kayser ve Kunst, 2005; Cooper, 2005).

Yüzeyaltı akışlı arıtma sistemlerinde azot giderimindeki kısıtlılıklarını ortadan kaldırmak için yatay ve düşey yüzeyaltı akışlı sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını olumlu yönde birleştiren birleşik sistemlerin uygulanması önem kazanmaktadır. Yatay yüzeyaltı akışlı sistemler (Y-YAAS) oksijen kısıtlılığı olan, anoksik bölgelerin baskın olduğu sistemlerdir. Y-YAAS'de anoksik bölgede denitrifikasyonu sağlamak mümkündür. Düşey yüzeyaltı akışlı sistemlerde (D-YAAS) ise nitrifikasyon için gerekli ortamı sağlamak oksijen transfer verimini çeşitli yöntemlerle arttırmakla mümkündür.

Y-YAAS, askıda katı madde ve  $\text{BOI}_5$  gideriminde etkindir. D-YAAS ise klasik YSAS'e göre daha yüksek yükleme oranlarında  $\text{BOI}_5$  giderimini sağlamaktadır. Bu sistem aynı zamanda ikincil veya üçüncül arıtma sistemi olarak tam nitrifikasyonu sağlamakta başarılıdır. Özetle D-YAAS, yüksek nitrifikasyon kapasitesi için, Y-YAAS ise etkin denitrifikasyon için önem taşımaktadır. Y-YAAS ve D-YAAS'ın uygun proses akışı içinde bir araya getirilmesi ile organik madde ve azot giderimi; sistem çıkışında düşük toplam azot deşarj değerleri elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada, evsel atıksudan azot gideriminde, Y-YAAS ve D-YAAS'den oluşan ardışık sistemin geri devirli ve doldur-boşalt esasına göre işletilmesinin azot giderimi üzerine etkileri araştırılmıştır.

## **Materyal ve yöntem**

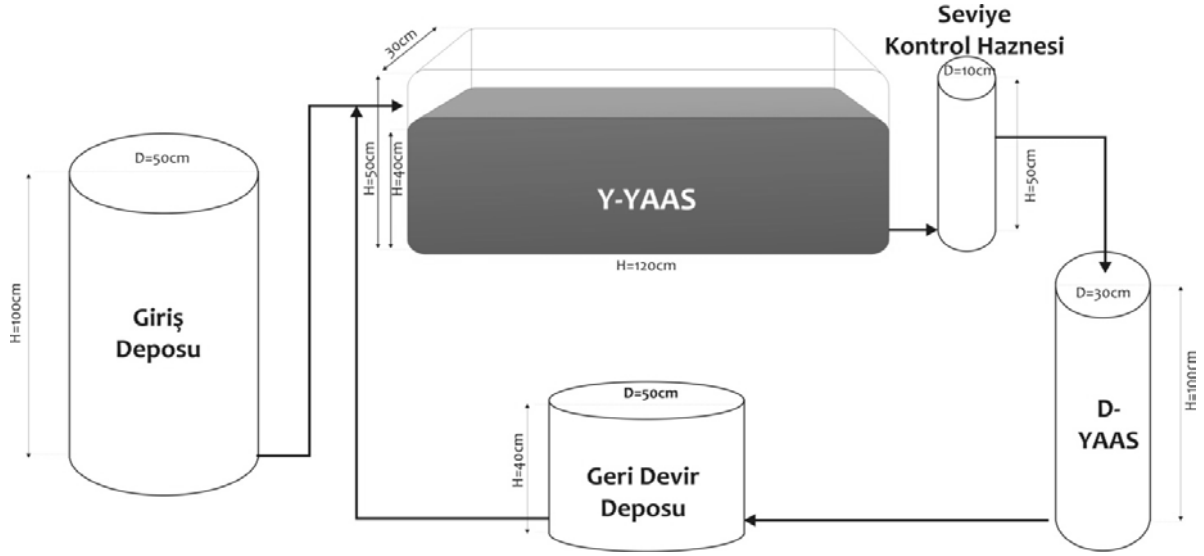
### **Y-YAAS ve D-YAAS**

Bu çalışmada, iki kademeli ardışık yüzeyaltı akışlı sistem üzerinde oksijen transferinin ve geri devrin, nitrifikasyon ve denitrifikasyon verimine etkileri incelenmiştir. Nitrifikasyon prosesi için gerekli oksijen, düşey akışlı sistemin doldur-boşalt (sürekli besleme – kesikli boşaltma) esasına göre işletilmesi vasıtasıyla deşarj olan su hacminin yerini havanın alması ile sağlanmaktadır.

Ardışık yüzeyaltı akışlı sistem, seri olarak işletilen Y-YAAS ve D-YAAS'den oluşan 2 kademeli bir sistemdir. Sisteme ait akım şeması Şekil 1'de görülmektedir. Y-YAAS yatay doğrultuda akım ile D-YAAS ise düşey doğrultuda akım ile beslenmektedir.

Y-YAAS 30×120×50 cm boyutlarında D-YAAS ise 30 cm çaplı 100 cm derinlikli bir reaktördür. Y-YAAS polyesterden, D-YAAS pleksiglasdan imal edilmiştir. Sistemler peristaltik pompa ile beslenmektedir.

D-YAAS'de yatak tabandan itibaren 40 cm yüksekliğinde doldurulup ani boşaltılarak doldur – boşalt esasına göre çalıştırılmıştır.



Şekil 1. Sistemin akım şeması

Y-YAAS'de, reaktör girişinden itibaren 14 cm'lik bölümde, akımın üniform dağılımını sağlamak ve partiküler maddeyi tutmak üzere 15-20 mm boyutunda çakıl ile yatak oluşturulmuştur. İlk 14 cm'den sonra çıkıştan itibaren 14 cm'lik bölgeye kadar olan orta bölgede ise sistem 7-15 mm boyutunda nehir çakılı ile doldurulmuştur. Çıkıştaki 14cm'lik bölüm üniform dağılımı sağlamak üzere tekrar 15-20 mm boyutunda çakıl ile doldurulmuştur.

D-YAAS'de tabandan itibaren ilk 40 cm'lik bölüm 4.75 – 11.2 mm kalınlıkta çakıl ile 40 – 80 cm aralığı ise 2 – 5.6 mm kalınlıkta çakıl ile doldurularak yatak oluşturulmuştur. D-YAAS'de porozite %33, yatay akışlı sistemde %28'dir.

### İşletme prensipleri

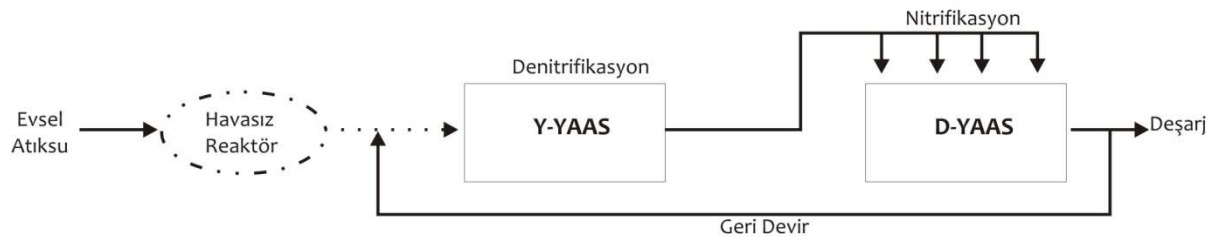
Sistem farklı geri devir oranları ile (%50 ve %100) ve ön arıtmalı ve ön arıtmasız evsel atıksu ile işletilerek sistem performansı mukayese edilmiştir.

Geri devirli işletmenin nitrifikasyon – denitrifikasyon performansına etkisi değerlendirilmiştir. Geri devir, Şekil 1 ve Şekil 2'de görüldüğü gibi D-YAAS çıkıştan Y-YAAS girişe, yapılmıştır.

Geri devirli sistem, nitrat geri devrinin yapıldığı anoksik/oksik (A/O) aktif çamur sistemlerine benzer şekilde çalıştırılarak azot gideriminin artırılabilceğinin gösterilmesi hedeflenmiştir.

Sistemin yapısı aşağıdaki üç ana hipotez üzerine kurulmuştur;

1. Yatay yüzeyaltı akışlı sistemde (Y-YAAS), organik madde giderimi sonucu düşey yüzeyaltı akışlı sistemin (D-YAAS) organik madde yükü hafifletilerek, nitrifikasyon bakterilerinin D-YAAS ortamında daha avantajlı olması sağlanacaktır.
2. Drene edilen atıksu hacmine eşit hacimde hava yatağı dolduracak böylelikle nitrifikasyon prosesi için gerekli yeterli oksijen ortama taşınacaktır (Green, vd., 1998, 2000).



Şekil 2. Geri devirli YSAS akım şeması

3. Geri devir, Y-YAAS'de denitrifikasyon prosesini sağlamakla sistemin azot giderim performansını artıracaktır.

Çalışmada farklı HYH değerleri ile yapılan deneysel çalışmaların ardından geri devir oranının ve ön arıtmanın sistem performansına etkisi değerlendirilmiştir. Y-YAAS için 120 L/m<sup>2</sup>.gün, D-YAAS için 612 L/m<sup>2</sup>.gün HYH değeri ile ve iki farklı geri devir oranı ile sistem performansı değerlendirilmiştir. Anaerobik ön arıtmadan geçen evsel atıksu ile geri devirsiz, %50 geri devirli ve %100 geri devirli çalışma yürütülmüştür. Ayrıca ön arıtma uygulanmamış evsel atıksu ile %100 geri devirli işletme verileri değerlendirilmiştir. Çalışmaya ait deneysel sistematik Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Deneysel çalışma sistematigi

Dönem	HYH* L/m <sup>2</sup> .gün	Geri devir, R	Anaerobik ön arıtma
I.	120/612	0	Var
II.	180/918	%50	Var
III.	240/1224	%100	Var
IV.	240/1224	%100	Yok

\* HYH için 1. Değer Y-YAAS'e, 2. Değer D-YAAS'e aittir.

#### Atıksu özelliği

Çalışmada, TÜBİTAK MAM Gebze Yerleşkesi lojmanlarına ait evsel atıksu kullanılmıştır. Sistem farklı dönemlerde anaerobik ön arıtma uygulanan ve uygulanmayan atıksu ile işletilmiştir. Arazide doğal iklim koşullarında işletilen anaerobik reaktörde ön arıtmadan geçen evsel atıksu bir rögarda toplanmış, rögarda toplanan atıksu laboratuvar ölçekli sistem girişindeki depoya alınarak kullanılmıştır. 50 L'lik bir depoya pompa ile alınan atıksu, Y-YAAS'e ve ardından gelen D-YAAS'e peristaltik pompa ile beslenmektedir.

Sisteme giren atıksu karakterizasyonu Tablo 2'de verilmektedir.

#### Deneysel çalışma sonuçları

Deneysel çalışma süresince sisteme ait çevresel koşullar; pH ve sıcaklık değerleri, Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmektedir. Sistem 20±2°C sabit sıcaklıkta işletilmiştir.

Tablo 2. Sisteme ait atıksu karakterizasyonu

Dönem*	I	II	III	IV
KOİ, mg/L	311±73	206±59	215±37	436±99
TKN, mg/L	54±6	34±10	41±7	67±7
NH <sub>4</sub> -N, mg/L	45±5	28±9	34±6	57±5
Alkalinite, mgCaCO <sub>3</sub> /L	384±28	354±46	299±18	304±11

\* Dönemlere ait bilgi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 3. Sistemde pH değişimi

Dönem*	I	II	III	IV
Y-YAAS	7.7±0.2	7.5±0.1	7.55±0.1	7.35±0.1
D-YAAS	7.00±0.2	7.14±0.1	7.17±0.2	7.10±0.1

Tablo 4. Sistemde sıcaklık değişimi

Dönem*	I	II	III	IV
Y-YAAS	20.3±0.6	20.02±0.6	20.03±0.5	22.13±1
D-YAAS	20.41±0.6	20.99±0.8	20.59±0.9	22.18±1

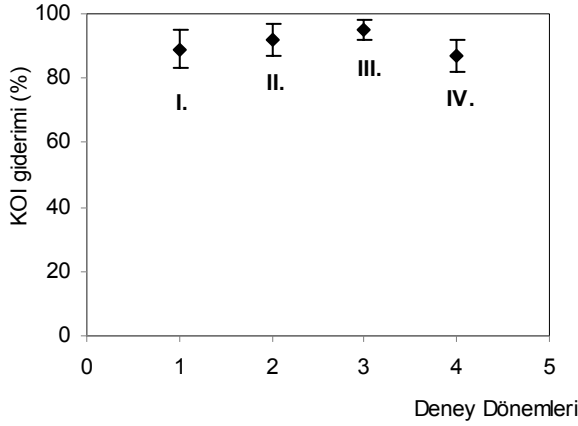
Sistemin iki farklı geri devir oranı ile işletildiği dönemde sistem TN giderimi artmış ve deşarj konsantrasyonları düşmüştür. Anaerobik ön arıtmadan geçirilmiş evsel atıksuyun geri devir uygulanmadan 612 L/m<sup>2</sup>.gün HYH değeri ile işletildiği dönemde sistemin (Y-YAAS + D-YAAS) TN giderimi ortalama %22±12 iken %50 geri devirli işletme döneminde %30±5 TN giderimi, %100 geri devirli dönemde ise %55±9 TN giderimi elde edilmiştir.

Sistemin farklı işletme dönemlerinde sistemde elde edilen KOİ ve TN giderim verimi Şekil 2'de, görülmektedir. Geri devir oranı artışı KOİ gideriminde önemli bir iyileşme sağlamamaktadır (R:0 için %89±6, R:%50 için %92±5, R:%100 için %95±3). Bununla birlikte TN açısından hedeflendiği gibi geri devir oranına bağlı olarak %22±12'den %55±9'e yükselen giderim elde edilebilmektedir.

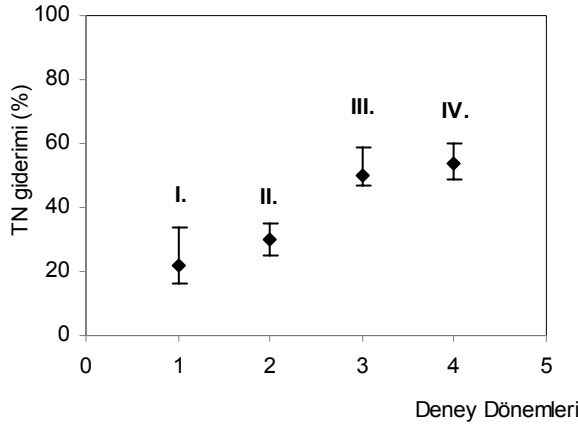
612 L/m<sup>2</sup>.gün HYH değeri ile geri devirli işletme döneminde sistem çıkışında ortalama 19 (19±3) mg/L TN deşarj konsantrasyonu, 12 (12±8) mg/L KOİ deşarj konsantrasyonu sağlanmıştır.

İki kademeli YSAS'ın ön arıtmasız işletme döneminde sistem çıkış KOİ konsantrasyonu 29±8

mg/L ön arıtmalı dönemin çıkış KOİ konsantrasyonu ise  $12 \pm 8$  mg/L ölçülmüştür. Ön arıtmasız dönemde TN çıkış konsantrasyonu  $29 \pm 8$  mg/L, ön arıtmalı dönemde ise  $19 \pm 2$  mg/L'dir.



(a)



(b)

Şekil 2. Farklı işletme dönemlerinde KOİ ve TN giderim oranları (a) KOİ (b) TN

## Değerlendirme

Geri devirli ardışık yüzeyaltı akışlı sistemde, ön arıtmalı ancak geri devirsiz işletme dönemi ile ön arıtmasız ve %100 geri devirli işletme dönemi azot giderim performansı birbirine çok yakındır. Ön arıtma ile elde edilen giderim verimi, ön arıtmanın uygulanmadığı dönemde ancak geri devir ile sağlanabilmektedir. Bu nedenle sistem konfigürasyonuna, alıcı ortam için hedeflenen deşarj standartlarını, sistemin kurulacağı

iklim şartlarını, ilk yatırım ve işletme maliyetlerini göz önüne alarak karar vermek gerekmektedir.

% 100 geri devirli sistemde, ortalama  $22.9$  g KOİ/m<sup>2</sup>.gün ve  $6.0$  g TN/m<sup>2</sup>.gün yükü ile, birinci kademe (Y-YAAS)  $0.8$  m<sup>2</sup>/kişi, ikinci kademe (D-YAAS)  $0.2$  m<sup>2</sup>/kişi olmak üzere toplam  $1.0$  m<sup>2</sup>/kişi ardışık sistem alanı ile  $95 \pm 3$  KOİ,  $55 \pm 9$  TN giderimi sağlanmıştır. Böylelikle geri devirli ardışık yüzeyaltı akışlı sistem ile arazi ihtiyacının azaltıldığı modifiye bir sistem ortaya konmuştur.

Arazi ihtiyacının azaltıldığı modifiye sistemler, doğal arıtma sistemlerinin uygulama alanlarını artıracak ve sahada uygulanmalarını kolaylaştıracak sistemlerdir. Düşük işletme maliyetine sahip bu arıtma sisteminin, ılıman iklim özelliklerinde azot giderimi için kullanımı elverişli görünmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü'nde yürütülen 105G047 kodlu TARAL Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

## Kaynaklar

- Alvarez, J.A., Ruiz, I. ve Soto, M., (2008). Anaerobic digesters as a pretreatment for constructed wetlands, *Ecological Engineering*, **33**, 54-67.
- Cooper, P., (2005). The performance of vertical flow constructed wetland system with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rates, *Water Science and Technology*, **51**, 9, 81-90.
- Green, M., Friedler, E. ve Safrai, I., (1998). Enhancing nitrification in vertical flow constructed wetland utilizing a passive air pump, *Water Resources*, **32**, 12, 3513-3520.
- Green, M., Artzi, E., Tarre S. ve Lahav, O., (2000). High rate vertical bed for nitrification, 7<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 269-276, November 11-16, Florida.
- Kayser, K. ve Kunst, S., (2005). Processes in vertical flow reed beds: Nitrification, oxygen transfer and soil clogging, *Water Science and Technology*, **51**, 9, 177-184.